

Artículo/Article
Sección C/Section C
Vol. 14, nro. 1
ID: 2605

Hitos tecnológicos que cambiaron el rol de Brasil en la producción de maíz: 30 años de crecimiento para convertirse en importante actor del escenario mundial, una revisión

Lauro José Moreira Guimarães[1*], Frederico Ozanan Machado Durães[1], Maria Marta Pastina[1], Roberto Willians Noda[1], Sidney Netto Parentoni[1], Paulo Evaristo de Oliveira Guimarães[1], Roberto dos Santos Trindade[1], José Luis Zambrano[2]

[1] Embrapa Milho e Sorgo. C.P. 151, MG 424 km 45, Sete Lagoas, MG, Brasil.
[2] INIAP, Estación Experimental Santa Catalina, Panamericana sur Km 1, Cutuglahua 171108, Ecuador
*Autor para Correspondencia, e-mail: lauro.guimaraes@embrapa.br

Technological milestones that changed Brazil's role in corn production: 30 years of growth to become an important player on the world stage, a review

Resumen

En los últimos 30 años (cosechas agrícolas de 1991/92 a 2021/2022), el maíz ha experimentado una verdadera revolución en Brasil. Actualmente, el país se ha consolidado como el tercer productor y segundo exportador de este cereal, con una producción de más de 100 millones de toneladas de este grano por año agrícola. En este periodo, el cultivo de soja (soya) se destaca como el gran impulsor de los avances tecnológicos, llevando al maíz y a otros cultivos a posiciones más destacadas y transformando los sistemas de producción de granos, que antes eran de monocultivo o rotación, a sistemas más intensificados, con dos (o más) cultivos agrícolas por año en la misma área. La región del Cerrado brasileño, antes considerada no apta para la agricultura, es hoy el gran granero de Brasil. En estas tres décadas de escalada en la producción de maíz, se destacan algunos hitos legales y tecnológicos, como la Ley de Protección de Cultivares y su reglamento (desde 1997), el Sistema de Siembra Directa, el cultivo de maíz en segunda cosecha o safrinha (después de la soja) y el uso de biotecnologías. Estos factores fueron determinantes para que el crecimiento de la producción de maíz superara en más de 3,6 veces el volumen de la campaña agrícola 1991/92 (pasando de 30,7 para más de 112 millones de toneladas en 2021), mientras que el área destinada al cultivo de maíz aumentó solo 1,5 veces (de 14 para 20,8 millones de ha, no periodo). Los incrementos en la productividad están ligados a tecnologías y conocimientos aplicados a la gestión de los sistemas productivos, en la rotación soja-maíz, y no solo en un cultivo aislado; permitiendo mayores avances en la producción bruta de ambos granos (rendimientos recientes en la cosecha de maíz son unas 2,5 veces mayores que hace 30 años, alcanzando 5,3 t ha^{-1}). Este trabajo presenta datos y hechos que permitieron a Brasil salir de una posición de vulnerabilidad, en cuanto a la oferta de grano de maíz, para convertirse en un actor importante en la producción y comercialización de este cereal a nivel mundial.





Editado por / Edited by: Gabriela Albán

Recibido / Received: 28/02/2022

Aceptado / Accepted: 05/04/2022

Publicado en línea / Published online: 16/05/2022

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Palabras clave: *Zea mays* L., maíz en segunda cosecha–safrinha, productividad, protección de cultivares, tecnologías de cultivo.

Abstract

Corn has experienced a true revolution in Brazil during the last 30 years (agricultural harvests from 1991/92 to 2021/2022). Currently, the country has established itself as the third producer and second exporter worldwide of this cereal, with a production of more than 100 million tons of this grain per agricultural year. In this period, soybean cultivation stands out as the great driver of technological advances, leading corn and other crops to more prominent positions and transforming grain production systems; previously monoculture or rotation, to more intensified systems, with two (or more) agricultural crops per year in the same area. The Brazilian Cerrado region, previously considered unsuitable for agriculture, is today the great barn of grain production in Brazil. In these three decades of escalation in corn production, some legal and technological milestones stand out, such as the Law for the Protection of Cultivars and its regulations (since 1997), the direct sowing system, the cultivation of corn in the second harvest (after soybean), and the use of biotechnologies. These factors were decisive for the growth of maize production to exceed by more than 3,6 times the volume of the 1991/92 agricultural season (30,7 million tons, at that time, to 112 million tons in 2021), while the area devoted to maize cultivation increased only 1,5 times (14 million ha in 1991/92 to 20,8 million ha after 30 years). Increases in productivity are linked to technologies and knowledge applied to the management of production systems, soybean-corn, and not only in an isolated crop; allowing greater advances in the gross production of both grains (recent yields in the corn harvest are about 2,5 times higher than 30 years ago – reaching more than 5,3 $t.ha^{-1}$). This article shows data and facts that allowed Brazil to get out of a position of vulnerability, in terms of corn supply, to become an important player in the production and marketing of this cereal worldwide.

Keywords: *Zea mays* L., second season maize – "safrinha", yield, Plant Variety Protection, crop technology.

INTRODUCCIÓN

A principios de la década de 1980, Brasil importaba alimentos, siendo el maíz básicamente un cultivo de subsistencia, cultivado en campos pequeños, utilizando baja tecnología, tanto en términos de manejo de cultivo como en términos de genética de cultivares. La mayoría de las veces se utilizaron semillas de variedades de polinización abierta, sin tratamiento para el control de insectos del suelo y hongos fitopatógenos en la fase inicial del cultivo. La siembra se realizaba con semillas que dejaban mucho que desear en cuanto a clasificación y estandarización. En muchos casos, la siembra se hacía de forma manual o con maquinaria de tracción animal, y las sembradoras mecánicas, cuando se utilizaban, no proporcionaban la densidad adecuada (espaciado entre semillas, profundidad de siembra, velocidad de operación y otros ajustes). En consecuencia, el rodal promedio (poblaciones de plantas) era bajo y la distribución de plantas en el campo era heterogénea. Se utilizaban pocos insumos, con fertilización insuficiente para lograr una alta productividad. El control de plagas a menudo



no era suficiente para llevar a las poblaciones por debajo del nivel de daño económico y no se practicó el control de enfermedades foliares. También estaba el problema de la acidez, los altos niveles de saturación de aluminio y la baja fertilidad natural de los suelos, especialmente en la región Tropical localizada en la parte central de Brasil, típicamente del bioma conocido como Cerrado. La mayoría de los cultivares no se adaptaron a las condiciones del Cerrado y tuvieron un ciclo tardío y un tamaño de planta alto, lo que provocó problemas en la cosecha debido a la alta tasa de acame y rotura de tallos.

A pesar de este escenario desfavorable para la producción de maíz en Brasil en la década de los ochenta; existieron, en los últimos 30 años, eventos tecnológicos que permitieron que el país se convirtiera en un actor importante en la producción de maíz a nivel mundial. Actualmente, Brasil es el tercer mayor productor de maíz del mundo, cosechando cerca de 100 millones de toneladas de granos de maíz en los últimos años, solo por detrás de Estados Unidos de América y China, y se ha consolidado como el segundo mayor exportador de este cereal, con solo los EE. UU por delante [1].

En el escenario rural brasileño, el maíz es uno de los cultivos destacados, siendo cultivado en un área aproximada de 20 millones de hectáreas, con una producción total de alrededor de 112 millones de toneladas de granos en la zafra 2021/22 [2]. Actualmente, el maíz ocupa el segundo lugar después de la soja, tanto en superficie cultivada como en producción bruta (unas 40 millones de ha y 125 millones de toneladas de soja), y la producción de la oleaginosa se concentra básicamente en la temporada de cultivo primavera/verano (primera cosecha - de septiembre a febrero), mientras que el cultivo de maíz tiene dos temporadas principales: cosecha (septiembre/octubre a febrero/marzo) y fuera de temporada, también conocida como safrinha (de febrero a julio), o primera y segunda cosecha, respectivamente.

Este artículo presenta y analiza algunos hitos tecnológicos sobre cómo las nuevas técnicas o tecnologías emergentes permitieron avances en productividad y en la forma de producir este grano con mayor sustentabilidad.

El objetivo de este trabajo es presentar una revisión de los principales factores agronómicos, tecnológicos y regulatorios que permitieron a Brasil pasar de una condición de vulnerabilidad como productor de maíz a uno de los mayores productores y exportadores de maíz del mundo, en un periodo de 30 años.

METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

Para este trabajo de revisión se buscó información y trabajos científicos, principalmente a través de herramientas de búsqueda en internet y páginas web oficiales de importantes instituciones que se ocupan de la agricultura y los cultivos de maíz y soja, tales como: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO); Gobierno de Brasil (Brasil); Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento de Brasil (MAPA); Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa); Instituto Agronómico de Campinas (IAC); y, Empresa Nacional de Abastecimiento (CONAB).

Los datos presentados fueron extraídos de las páginas webs oficiales de CONAB. A partir de las planillas oficiales, que contienen series históricas de superficie cultivada,

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



producción y rendimiento de grano por año. Se filtraron y seleccionaron datos para el periodo informado (30 años, de 1981/82 a 2021/22), lo que permitió la elaboración de gráficos y tablas utilizando el programa Excel.

Este trabajo de revisión fue elaborado con base a datos oficiales y hechos relevantes del periodo, como la promulgación de Leyes y decretos, informes expresados en la literatura científica y en páginas oficiales de instituciones consolidadas y respetadas, aprovechando también la experiencia de los autores, investigadores en el área Agronómica y afines.

Bases para los avances en la producción de granos en las zonas tropicales de Brasil

El establecimiento de una agricultura moderna de base tropical ocurrió principalmente en las regiones del Cerrado brasileño y fue un proceso multiinstitucional y multidisciplinario, donde muchos contribuyeron para que gran parte de los alimentos producidos en el mundo provengan de estas áreas. Inicialmente, hubo dos desafíos principales: uno relacionado con las características químicas de los suelos del Cerrado, que tenían alta acidez, asociada con alta saturación de aluminio tóxico y baja disponibilidad de fósforo; y el otro, relacionado con el germoplasma, que en la mayoría de los casos no mostró adaptaciones al cultivo en clima tropical y en suelos de sabana. Las regiones del Cerrado fueron consideradas más aptas para pastos, para la ganadería extensiva de baja productividad. Con el avance de la agricultura, en las décadas de 1970 y 1980, el principal cultivo utilizado en el cerrado fue el arroz de secano, luego, con los avances tecnológicos, hubo espacio para la soja, que rápidamente se perfiló como un cultivo con mayor valor agregado. Y finalmente, el maíz, sorgo, algodón, caña de azúcar, girasol, trigo, entre otros, mostraron un crecimiento sustancial en estas regiones.

La investigación pública y la adaptación del germoplasma a las áreas tropicales de Brasil

La investigación pública jugó un papel clave en la adaptación y el desarrollo de la gestión del cultivo de soja en Brasil en los primeros periodos, como lo informó Vidal (2015) [3]. Los institutos públicos de investigación agrícola, como el IAC (Instituto Agronómico de Campinas), a partir de la década de 1930, y Embrapa (Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria), a partir de la década de 1970, realizaron programas de investigación y mejoramiento con el cultivo de la soja que permitieron los avances posteriores. Fueron seleccionados materiales que establecieron la base genética de la soja con un largo periodo juvenil; esta característica permitió ampliar el territorio de cultivo, antes restringido al sur del país, a todo Brasil. La obtención de cultivares de soja adaptados a regiones con latitudes más bajas, con días cortos, también fue reportada por Campelo *et al.* (1998) [4]. Además de las condiciones de días cortos del clima tropical, los nuevos cultivares necesitaban adaptarse a los suelos del Cerrado y, en ese sentido, se lograron grandes avances en prácticas de manejo de suelos, nutrición vegetal, desarrollo de inoculantes específicos para fijación de nitrógeno (FBN) y manejo integrado de plagas y enfermedades. De esta manera, la soja pudo llegar a territorios que no eran propicios para su cultivo. Este movimiento fue conocido como "La Conquista del Cerrado" [3].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605





El Cerrado brasileño, a pesar de tener gran parte de los suelos con características químicas desfavorables que requieren corrección de acidez e incremento de nutrientes y materia orgánica, tiene una topografía muy favorable a la mecanización, por lo que se facilitan las operaciones del tractor y permiten la reducción de costos de producción a gran escala. Con la disponibilidad de cultivares de soja más adaptados a las condiciones del Cerrado, y los buenos precios pagados por el grano de esta oleaginosa, hubo una revolución que condujo a la intensificación de los sistemas de producción de granos, con mayores tasas de uso de insumos agrícolas y manejo específico.

El maíz tampoco estaba adaptado a las condiciones del suelo de las áreas del Cerrado, hecho que estimuló la búsqueda de soluciones, inicialmente por parte de instituciones públicas de investigación agrícola. A partir de la década de 1970, se inició en Brasil un gran programa de enriquecimiento de germoplasma de maíz, con la introducción de variedades tropicales, principalmente del CIMMYT y Tailandia. Estos materiales introducidos fueron trabajados a fines de la década de 1970 y principios de la de 1980, realizando varios ciclos de selección recurrente en programas de fitomejoramiento de instituciones públicas, como Embrapa, IAC y ESALQ (Escuela Superior de Agricultura Luiz de Queiroz). En red de socios, Embrapa realizó una serie de pruebas agronómicas en varias regiones de Brasil para evaluar esas variedades, en ambientes del Cerrado, con suelos ácidos y baja disponibilidad de fósforo (P).

Se obtuvieron cientos de variedades mejoradas localmente, las que fueron evaluadas en ambientes cerrados y en solución nutritiva con adición de aluminio (Al) para identificar materiales superiores en cuanto a tolerancia a este elemento tóxico y otras características de interés. Los trabajos permitieron identificar líneas superiores y se desarrolló y validó un híbrido doble (BR201), con mayor tolerancia al Al y mayor eficiencia en el uso del P. Este híbrido fue lanzado en 1987 por Embrapa, con indicación para condiciones del Cerrado, alcanzando 12% del mercado de maíz en Brasil a principios de la década de 1990 [5]. El germoplasma desarrollado por Embrapa en esa época fue ampliamente distribuido a institutos de investigación y empresas privadas de semillas de maíz, contribuyendo fuertemente para el establecimiento de una base de maíz tropical, adaptada a las condiciones de la sabana brasileña.

Embrapa Maíz y Sorgo avanzó en estudios genéticos de esos cultivos, identificando genes que confieren mayor tolerancia al Al y marcadores moleculares asociados. Actualmente, estos genes están siendo utilizados para el desarrollo de nuevas líneas e híbridos modernos, con base genética de alto potencial productivo con participación de germoplasma de clima templado, pero agregando tolerancia al Al [6].

La Ley de Protección de Cultivares y su impacto en el escenario agrícola brasileño

Para apalancar una industria de semillas que sea capaz de mantener vigorosos programas de mejoramiento genético, con la capacidad de proporcionar cultivares con las características necesarias para el crecimiento de la agricultura en Brasil, además, de tener germoplasma adaptado, fue necesario establecer un ambiente adecuado de "negocio". Esto solo se logró con avances en la legislación. Así, la Ley N° 9.456, de 25 de abril de 1997, conocida como "Ley de Protección de Cultivares" [7], fue uno de los hitos fundamentales que permitió avances tecnológicos en los sistemas de producción agropecuaria del país.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Sorprende que el mayor impacto de esta ley para el maíz no vino directamente sobre el cultivo en sí (pese al evidente beneficio directo), sino por los grandes avances que permitió para el cultivo de soja. Al ser una especie autógama, los cultivares de soja conservan sus características genéticas cuando se multiplican las semillas. Antes de que se estableciera la legislación para proteger los derechos de los obtentores, no había ningún incentivo para que el sector privado invirtiera en el mejoramiento genético de soja, ya que cualquier individuo (o empresa) podía apropiarse de los cultivares liberados sin que los desarrolladores obtuvieran un beneficio económico. En ese escenario, también fueron escasas las inversiones en equipos para el desarrollo del mercado de cultivos, venta de semillas, fertilizantes y otros insumos agrícolas, maquinaria y asesoría agronómica especializada. Hasta principios de la década de 1990, el área cultivada con soja en Brasil era menor que el área de maíz (9,5 millones de hectáreas de soja, frente a 14,5 millones de hectáreas de maíz) y la tecnología de cultivo de soja era incipiente y de poca inversión, por lo que los rendimientos eran bajos (alrededor de 2,1 t ha^{-1}) y, en consecuencia de la pequeña superficie y baja productividad, la producción nacional era pequeña, menos de 20 millones de toneladas de soja [1].

Con la sanción de la Ley N° 9.456, reglamentada por el Decreto N° 2.366, del 5 de noviembre de 1997, del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento (MAPA) [8], se garantizó la protección intelectual y la protección real para la explotación comercial de nuevos cultivares en Brasil, lo que generó un ambiente propicio para avances en emprendimientos e inversiones en el área de semillas. Hubo un claro estímulo a la industria de las semillas, en particular a los cultivos autógamos, como la soja. Así, los productores de esta oleaginosa comenzaron a contar con la disponibilidad de nuevos cultivares, con adaptación a las diferentes regiones del país, a las diferentes épocas de cultivo y con resistencia a las principales plagas y enfermedades [9].

El maíz también se benefició de mayores inversiones en mejoramiento genético, como resultado de la ley de protección de cultivares. Debido a la percepción de los productores tecnificados de que el uso de cultivares híbridos brindaba mayores rendimientos que las variedades de polinización abierta, la industria de semillas de maíz se fortaleció, trayendo nuevas dinámicas al mercado. Hubo una mayor disponibilidad de cultivares, híbridos con mayor potencial productivo, diferentes ciclos y otras características importantes para expansión a diferentes regiones y épocas de cultivo.

El sistema de siembra directa (SPD) y su importancia para el establecimiento de maíz fuera de temporada (segunda cosecha de maíz después de la soja)

En la evolución de los sistemas de producción, hubo una búsqueda de soluciones de manejo que permitieron una mayor agilidad en la siembra y capacidad operativa; en este contexto, se adoptó cada vez más el sistema de siembra directa (SPD, por sus siglas en portugués), reemplazando las operaciones de arado y dos rastras por la desecación de los cultivos de cobertura y plantación directa en paja con maquinaria adecuada. El SPD permitió ahorros en las operaciones agrícolas y también la posibilidad de sembrar incluso con mayor humedad del suelo, algo que no es posible en el sistema de cultivo convencional. Al presentar una serie de ventajas, como la reducción de la erosión laminar del suelo, reducción de la evaporación del agua del suelo, mejorar el ciclo de

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605





nutrientes y ahorro de combustible. En 1991 empezó el escalamiento del SPD para la siembra de maíz en Brasil [10-11].

La adopción del SPD asociada a otros avances en el cultivo de soja, con la intensificación del uso de tecnologías en el Cerrado (manejo de fertilizantes, plagas y enfermedades, uso de maquinarias más grandes, con mayor capacidad operativa y con mejor calidad de operaciones, tanto de siembra como de cosecha) impulsaron con mucha fuerza la tecnificación del cultivo del maíz.

A raíz de la adopción tecnológica, se hizo posible la gran revolución en el cultivo del maíz en Brasil, la llamada safrinha, que es el cultivo del maíz en la misma área que la soja, a continuación de la oleaginosa. La soja, debido a su mayor valor de comercialización, se prioriza para ser cultivada en la época de mayor disponibilidad de lluvia (primavera/verano) con siembras a partir de fines de septiembre o principios de octubre (en la mayoría de las áreas de la región del Cerrado), con cosechas realizadas entre finales de enero y principios de marzo, según la región y el ciclo del cultivo. Una vez cosechada la soja, el terreno queda listo para la siembra de maíz, que no sería económica ni operativamente viable cultivar con las operaciones convencionales de preparación del suelo (arado y dos rastras), siendo posible establecer una segunda cosecha dentro del mismo año agrícola.

El maíz safrinha, que se siembra desde finales de enero hasta principios de marzo, después de la cosecha de la soja, naturalmente está sujeto a una menor disponibilidad de agua, y su viabilidad, en gran escala, solo fue posible gracias a la agilidad operativa del SPD. Esta rotación soja-maíz, en el Cerrado, transformó la región del Centro-Oeste de Brasil en la mayor productora de granos del país, cambiando la estructura agrícola nacional en un periodo de 30 años.

La rotación soja-maíz (safrinha) y la evolución tecnológica de los sistemas de producción de granos en Brasil

A partir de la zafra agrícola 1997/98, año en que se promulgó la Ley de Cultivares, la superficie de soja superó a la de maíz. En la campaña 2020/21, el área cultivada de soja fue equivalente a 39 millones de hectáreas, con rendimientos medios superiores a 3 500 kg ha^{-1} y la producción bruta fue de 138 millones de toneladas, lo que convirtió a Brasil en el mayor productor mundial de granos de esta oleaginosa [12].

Es posible verificar una relación directa entre el crecimiento del área de soja y el cultivo de maíz fuera de temporada (91% de correlación), y también en el crecimiento de los volúmenes brutos de producción de soja y maíz en Brasil (93% de correlación). Estas relaciones se pueden ver en la Figura 1, que muestra el crecimiento simultáneo en el área cultivada (millones de ha), en la producción (millones de toneladas de granos) y en los rendimientos (kg ha^{-1}) de los cultivos de soja y maíz a lo largo de los últimos 30 años.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Figura 1. (**A**) Área de cultivo, (**B**) producción y (**C**) productividad de soja y maíz en Brasil durante 30 años. Fuente: CONAB [2].

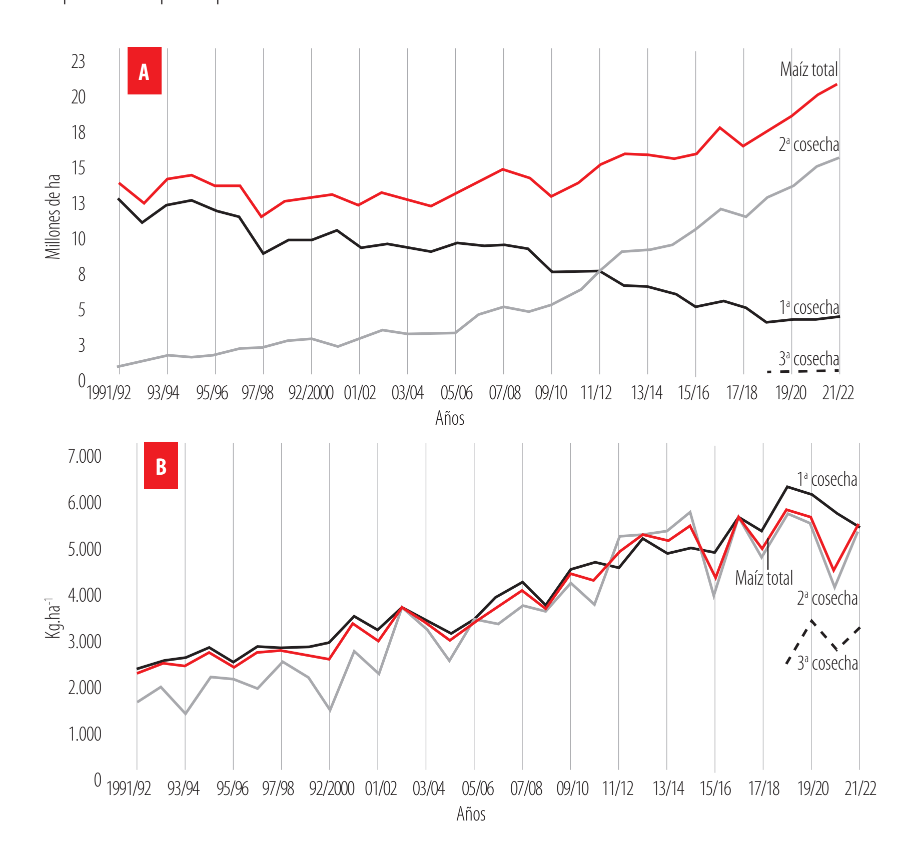
La productividad del maíz también creció en la medida en que el maíz se expandió en el área fuera de temporada, ya que los rendimientos económicos obtenidos con la soja permitieron al agricultor invertir en nuevas tecnologías para el sistema de producción.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Inicialmente, los beneficios fueron indirectos para el cultivo del maíz, cuando se aplicaron las más modernas técnicas e insumos al cultivo de la soja. Recientemente, ha existido la percepción de que las inversiones en maíz traen retornos económicos directos y también al sistema de producción en su conjunto (romper el ciclo de plagas y enfermedades en la soja, conservación/suministro de paja para SPD, control de malezas, mejor uso de maquinaria, infraestructura y personas, estructuración de suelos, entre otros), por lo que el cultivo del maíz continuará mostrando crecimientos en superficie, productividad y producción.

La Figura 2 muestra la dinámica del cultivo de maíz en Brasil en las últimas tres décadas, con crecimiento del área de cultivo de maíz en segunda cosecha y retracción de la primera cosecha (y también el surgimiento de una tercera cosecha –en el noreste del país– aún en sus inicios). La superficie cultivada con maíz safrinha pasó de alrededor de un millón de hectáreas en la campaña 1991/92 a más de 15 millones de hectáreas en 2021/22, lo que representa un aumento anual medio de alrededor del 48,2%. Por otro lado, hubo una disminución en el área sembrada con maíz en la primera cosecha, a razón de -2,1% anual, dando aún más espacio al cultivo de soja en este ciclo vegetativo. En el año agrícola 2011/12, hubo una inversión tanto en el área cultivada (Fig. 2, A) como en la producción bruta de maíz en el país (Fig. 2, C), y la contraestación pasó a ser más importante que la primera cosecha de maíz.



 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



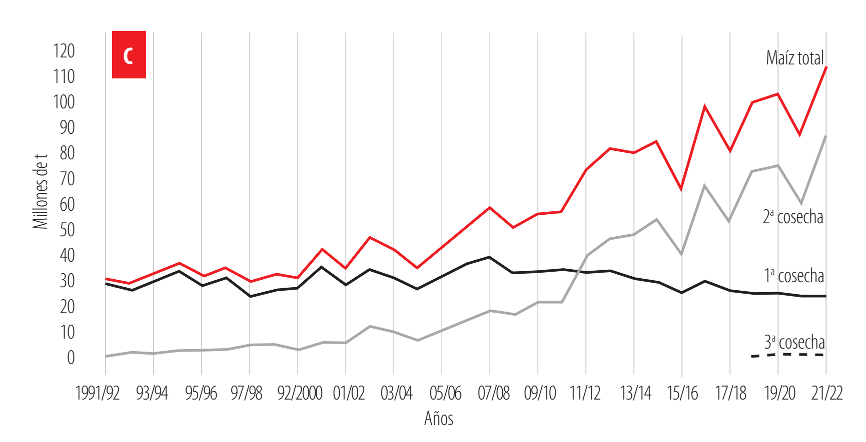


Figura 2. (A) Área de cultivo, (B) productividad y (C) producción de maíz, en Brasil, durante los últimos 30 años, para las temporadas de crecimiento de primera cosecha, segunda cosecha (safrinha) y tercera cosecha (cosecha del Nordeste). Fuente: CONAB [2].

La tasa de crecimiento general de la producción de grano de maíz en el periodo comprendido entre las zafras 1991/92 y 2021/22 fue de 8,6% anual (considerando todas las temporadas), sustentada básicamente por el aumento de la producción fuera de temporada, que mostró un crecimiento en el orden del 178% anual, pasando de aproximadamente 1,5 millones de toneladas a más de 86 millones de toneladas en este periodo. Por otro lado, hubo una retracción en la producción de maíz en la primera cosecha (-0,5% anual, en un periodo de 30 años). Los rendimientos medios de la contratemporada también fueron aumentando, con un aumento medio anual del 8,2%, mientras que en la primera cosecha el rendimiento mostró un menor ritmo de crecimiento, correspondiente al 4,5% anual (Fig. 2).

La región del Centro-Oeste y la producción de soja y maíz en Brasil

Artuzo y colaboradores (2019) presentaron un análisis histórico de la producción de maíz en Brasil durante cuarenta años [13], que trata de las diferencias entre tres periodos de producción, y demuestra el establecimiento de la mayor producción de este cereal en la región Centro-oeste del país, principalmente en el estado de Mato Grosso. La región del Cetro-oeste está dominada por el bioma Cerrado y tiene la soja como su principal cultivo agrícola, por lo que el maíz se ha establecido como un segundo cultivo (safrinha), en la sucesión de la fabácea.

Es importante destacar que el movimiento "Conquista do Cerrado" provocó cambios en la estructura de la producción de maíz en Brasil. En el año agrícola 1991/92, Brasil cultivó un área equivalente a 14 millones de hectáreas de maíz, y cerca del 64% de esa área se encontraba en las regiones Sur y Sudeste (40% y 24%, respectivamente). La región Nordeste cultivó el 22%, mientras que la región Centro-oeste representó apenas alrededor del 11% del área cultivada de maíz en Brasil [2]. La región Norte era muy incipiente con solo el 3% del área cultivada en ese momento.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



En el periodo de 30 años, se observó que el área cultivada con maíz en Brasil creció alrededor de 1,5 veces. En la campaña 2021/22, el área con este cultivo se estimó en aproximadamente 20,9 millones de hectáreas, con un cambio sustancial en relación a la distribución geográfica de la producción, con el 50% del área cultivada presente en el Centro-oeste de Brasil. Las regiones Sur y Sudeste perdieron importancia en este nuevo escenario, concentrando actualmente cerca del 20% y 11% de las áreas sembradas de maíz, respectivamente. La región Nordeste tiene el 14% de las áreas cultivadas y la región Norte continúa con baja expresión, con solo el 4,5% del área destinada a este grano. Se observa, entonces, que, en las últimas tres décadas, la región Centro-oeste de Brasil ha experimentado un crecimiento en el área de siembra de maíz del orden de siete veces, crecimiento basado en la adopción de conocimientos y tecnologías con el sistema de producción de maíz cultivado después de la cosecha de soja, sin necesariamente abrir nuevas áreas agrícolas (Tabla 1).

Mientras que el área cultivada de maíz en Brasil creció 1,5 veces en 30 años, la producción bruta de maíz creció 3,6 veces, pasando de 30,77 millones de toneladas a más de 112 millones de toneladas en el periodo considerado. Este crecimiento tuvo lugar a un ritmo más rápido en la región del Centro-oeste, con un aumento de 14 veces, de un nivel de 4,58 millones de toneladas a más de 64,5 millones de toneladas (Tabla 1).

Tabla 1. Datos generales de área, producción y productividad, por región, considerando todos los periodos de cultivo, para los años agrícolas 1991/92 y 2021/22, que representan 30 años de cultivo de maíz en Brasil.

	Región	1991/92	2021/22	Proporción (%)
		Miles de ha		
Área cultivada	Norte	439	948	216
	Nordeste	3 095	2 985	96
	Centro-oeste	1 521	10 506	691
	Sudeste	3 297	2 268	69
	Sur	5 674	4 189	74
	Brasil	14 027	20 896	149
		Miles de toneladas		
Producción	Norte	642	3 902	608
	Nordeste	1 219	9 930	815
	Centro-oeste	4 588	64 543	1407
	Sudeste	8 317	12 992	156
	Sur	16 006	20 975	131
	Brasil	30 771	112 343	365
		(kg ha^{-1})		
Productividad	Norte	1 462	4 116	282
	Nordeste	394	3 327	844
	Centro-oeste	3 016	6 144	204
	Sudeste	2 522	5 728	227
	Sur	2 821	5 007	177
	Brasil	2 194	5 376	245

Fuente: CONAB [2].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Otra forma de demostrar la evolución del cultivo de maíz en Brasil, se analiza a continuación. La soja siempre ha sido el principal cultivo agrícola en la región del Cerrado, debido al mayor valor del grano, y el cultivo se concentraba en la temporada de verano (primera cosecha), por lo que el cultivo del maíz tuvo que adaptarse a las condiciones de fuera de temporada. En el año agrícola 1991/92, se utilizaron menos de un millón de hectáreas para el maíz safrinha; mientras que, en 2021/22 hay más de 15,77 millones de hectáreas, lo que representa un aumento de casi 16 veces en la safrinha en el periodo de 30 años. Este cambio expresivo fue impulsado por la región Centro-Oeste, que mostró un crecimiento de prácticamente 95 veces en el área de cultivos de segunda cosecha, pasando de 108 mil hectáreas en ese momento a más de 10 millones de hectáreas en la actualidad (Tabla 2).

Tabla 2. **Representatividad de la contraestación (safrinha) en los años agrícolas 1991/92 y 2021/22, en referencia al total de área, producción y productividad*, con relación a la productividad media del maíz en Brasil.**

	Región	1991/92	(%)	2021/22	(%)
Área Safrinha (miles de ha)	Norte	0	0	662	3,2
	Nordeste	295	2,1	1 230	5,9
	Centro-oeste	108	0,8	10 229	49,0
	Sudeste	283	2,0	1 078	5,2
	Sur	304	2,2	2 578	12,3
	Brasil (safrinha)	990	7,1	15 777	75,5
*Área total Brasil		14 027		20 895	
Producción Safrinha (miles de toneladas)	Norte	0	0	2 903	2,6
	Nordeste	89	0,3	2 464	2,2
	Centro-oeste	184	0,6	61 886	55,1
	Sudeste	598	1,9	5 778	5,1
	Sur	660	2,1	13 022	11,6
	Brasil (safrinha)	1 529	5,0	86 053	76,6
*Producción total Brasil		30 771		112 342	
Productividad Safrinha (kg ha-1)	Norte	-	-	4 386	81,6
	Nordeste	300	13,7	2 003	37,3
	Centro-oeste	1 699	77,4	6 050	112,5
	Sudeste	2 110	96,2	5 358	99,7
	Sur	2 170	98,9	5 052	94,0
	Brasil (safrinha)	1 544	70,4	5 454	101,5
*Productividad promedio en Brasil		2 194		5 376	

Fuente: CONAB [2].

Impresionantemente, el crecimiento de la producción de granos de maíz en el Centro-oeste, en los últimos 30 años, fue del orden de 336 veces, con estimaciones de cosecha de aproximadamente 62 millones de toneladas de maíz en la temporada baja 2021/22, en comparación con las 184 mil toneladas producidas en el año agrícola 1991/92. El volumen actual de fuera de temporada (safrinha) en Brasil representa el 76,6% de la producción total del país (que se estima en 86 millones de toneladas), y la región del Centro-oeste aporta el 55% de la producción de fuera de temporada [2].

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



Las regiones Sur y Sudeste también tienen contribuciones a la producción de granos en la temporada baja, representando el 11,6% y el 5,1%, respectivamente, del total de maíz producido en la safrinha 2021/22 en Brasil. Las regiones Norte y Nordeste muestran baja expresión en la contraestación, representando alrededor del 2,6% y 2,2%, respectivamente (Tabla 2), debido a limitaciones climáticas, tecnológicas y logísticas.

En la región del Centro-oeste, la productividad actual de maíz en contraestación (safrinha - estimada para la campaña 2021/22) supera los 6000 kg ha^{-1}, valor cerca de un 12,5% por encima de la media nacional (estimada en unos 5376 kg ha^{-1}) (Tabla 2). En esta región, además de las condiciones climáticas y topográficas relativamente favorables, también se desarrollaron y adaptaron sistemas de cultivo para lograr estos mayores rendimientos.

El movimiento de intensificación productiva también se observó en otras fronteras agrícolas emergentes, basadas en la soja y el cultivo de maíz fuera de temporada. Entre los principales frentes están las llamadas regiones MATOPIBA (que reúne áreas de los estados de Maranhão, Tocantins, Piauí y Bahia) y SEALBA (que reúne áreas de los estados de Sergipe, Alagoas y Bahia). Estas dos regiones están elevando los niveles de producción de granos y las áreas antes consideradas marginales para la agricultura en el norte y noreste de Brasil, trayendo nuevas oportunidades para el emprendimiento y el desarrollo socio productivo.

Tipos de cultivares y transgénicos

Entre las diversas tecnologías adoptadas en el sistema de producción de Brasil donde se inserta el maíz, no se puede dejar de destacar la velocidad de adopción de híbridos con tecnologías transgénicas para el control de insectos plagas y con tolerancia a herbicidas. Parentoni *et al.* (2013) [14] abordan este tema y reportan que los transgénicos de maíz fueron adoptados por primera vez en Brasil en la zafra 2008/2009. En ese momento, 19 híbridos transgénicos (de 321) estaban disponibles, lo que representaba aproximadamente el 6% en el año del lanzamiento de la tecnología.

En la cosecha 2020/21, Pereira Filho y Borghi (2021) [15] informan que más del 75% de los híbridos de maíz disponibles en el mercado brasileño de semillas tenían tecnologías transgénicas. Actualmente, se dispone de híbridos con 11 tipos de combinaciones de genes, la mayoría piramidales, para el control de orugas, plagas de la parte aérea de la planta (con diferentes mecanismos de acción), para el control de plagas del suelo, y para tolerancia a herbicidas.

La tasa de adopción de transgénicos en la pretemporada de 2021 superó el 90% en relación al área destinada al maíz, con cerca de 12,6 millones de hectáreas cultivadas con híbridos de maíz con alguna tecnología transgénica, en un total de 13,7 millones de hectáreas en la safrinha de 2021 [2]. En la primera cosecha de maíz, la tasa de uso de transgénicos fue inferior a la de la contraestación, representando el 82%, lo que equivale a un área de aproximadamente 5,3 millones de hectáreas [15].

Además de ser modificados genéticamente, la mayoría de los cultivares disponibles son del tipo híbrido simple, que tienen mayor potencial productivo y un ciclo temprano, para una mejor adaptación a condiciones de restricción hídrica en cultivos fuera de estación (después de la cosecha de soja) [15]. La alta tasa de adopción de híbridos

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605





simples, transgénicos y de ciclo temprano en contratiempo, en relación a la primera cosecha (primavera/verano), evidencia la mayor inversión en cultivos de maíz en sistemas productivos donde la soja es el componente principal.

Mayor sostenibilidad en sistemas productivos intensificados

Desde mediados de la década del 2000, y más acentuadamente después de la campaña 2011/12, cuando la superficie y la producción de maíz safrinha superaron los respectivos valores (superficie y producción) de la primera cosecha de este cereal, no es posible disociar los avances tecnológicos de los cultivos de soja y maíz en Brasil.

El binomio soja-maíz se ha convertido en un elemento fundamental para aumentar la eficiencia de la producción agrícola e impulsar varias otras tecnologías que permiten una mayor sostenibilidad de los sistemas de producción intensivos, como el intercalado con forrajes (principalmente Brachiaria), los sistemas de integración cultivo-ganadería-bosque (ILPF por sus siglas en portugués y sus variantes: ILP-*Integración Lavoura Pecuária* e ILF-*Integración Lavoura Floresta*). La introducción de Brachiaria (y otros cultivos forrajeros o de cobertura) proporciona una mayor fijación de carbono en los sistemas agrícolas y se logra una mayor inmovilización de este elemento en los sistemas de producción que utilizan componentes arbóreos, con grandes efectos en la agenda de mitigación de los problemas relacionados por la emisión de gases de efecto invernadero de las cadenas productivas.

Con el uso de tecnologías y manejos que toman en cuenta las buenas prácticas agrícolas, basadas en la aplicación del conocimiento científico para la producción en suelos y climas tropicales, Brasil ha demostrado cada vez más que los granos (principalmente soja y maíz) se producen en grandes cantidades, a gran escala, de manera sostenible (económica y ambientalmente), de manera que se produzcan dos cosechas de granos en una misma zona, y en algunos casos una tercera cosecha para el ganado de engorde, dentro de un mismo año agrícola.

Los sistemas de producción intensificada, donde la safrinha de maíz es un componente clave, tienen un claro y significativo efecto de ahorro de tierras, al no requerir la expansión territorial sobre áreas de vegetación nativa para aumentar la producción y productividad de cultivos agrícolas y producción de carne. En este sentido, la mayor parte del tiempo, la expansión de las fronteras agrícolas se da sobre áreas de pastos degradados, incorporándolos a los sistemas de producción de granos a través de la recuperación de la capacidad de retención de agua, corrección de la acidez del suelo y mejoramiento de la fertilidad, con el fin de expandir la capacidad productiva y la rentabilidad de los sistemas agrícolas.

Los datos de la NASA también permiten verificar que, a pesar de las grandes dimensiones de las áreas destinadas a la producción agrícola y ganadera en Brasil, el país conserva más del 66% del territorio con vegetación nativa. Los cinco grandes biomas brasileños (Amazonas, Cerrado, Caatinga, Mata Atlántica y Pampa) presentan áreas de preservación de flora, fauna y recursos naturales (agua y minerales) en dimensiones y proporciones superiores a la mayoría de los países del mundo. La legislación brasileña también establece los límites mínimos para la preservación de áreas de vegetación nativa dentro de las propiedades rurales, de acuerdo con el Código Forestal (Ley nº



12.651, del 25/05/2012), y el gobierno utiliza el Registro Ambiental Rural (CAR) como uno de las herramientas para el control y seguimiento electrónico del uso del suelo. Brasil es un país de dimensiones continentales (supera Australia en área) y del área total conservada (dos tercios de su superficie) más del 26% del total del territorio nacional tiene vegetación nativa dentro de propiedades rurales privadas. Estos hechos refuerzan la importancia de utilizar tecnologías para intensificar los sistemas productivos, aumentando la productividad por área, sin necesidad de abrir fronteras agrícolas.

Sistemas de fertilización y construcción de la fertilidad del suelo

Los avances hacia sistemas de producción intensivos requieren de insumos que permitan, más que obtener una alta productividad, la sostenibilidad del sistema, en las dimensiones económica, ambiental y social. Los fertilizantes químicos son insumos importantes para la intensificación de los sistemas de producción de granos, pero es necesario planificar y gestionar su uso para obtener un mayor aprovechamiento de los sistemas agrícolas, no solo de los cultivos.

Los datos de importación de fertilizantes durante las últimas tres décadas demuestran cuán dependientes son los sistemas agrícolas de estos insumos. En 1991, el consumo de fertilizantes en Brasil fue de alrededor de 3,2 millones de toneladas [16], mientras que en 2021 se importaron 24,83 millones de toneladas [17]. Esto representa un crecimiento de alrededor del 770% en la tasa de uso de fertilizantes (considerando todo el consumo en Brasil, no solo el maíz y la soja).

La construcción de la fertilidad del suelo representa una evolución en el manejo de sistemas de producción más intensificados y proporciona ganancias en la eficiencia de la fertilización. La respuesta de los cultivos y los rendimientos económicos están influenciados por los niveles de acidez del suelo, las existencias de nutrientes y materia orgánica, y la capacidad de amortiguación del suelo, entre otros factores. La corrección de la acidez y el manejo de la fertilización deben realizarse no solo para reponer los nutrientes exportados (vía cosechas), o perdidos por otras vías en el sistema, sino también teniendo en cuenta las características texturales, físicas y químicas de los suelos, y las interacciones y dinámica de los nutrientes, buscando el equilibrio en la disponibilidad de los mismos para el mantenimiento de un alto potencial productivo. Un buen manejo de suelos con fertilidad acumulada permite optimizar el uso de fertilizantes y aumentar la rentabilidad de los sistemas productivos a mediano y largo plazo [18].

Bioinsumos

El gobierno brasileño, a través del Ministerio de Agricultura, Ganadería y Abastecimiento, instituyó el Programa Nacional de Bioinsumos y el Consejo Estratégico del Programa Nacional de Bioinsumos, a través del Decreto 10.375, de 26 de mayo de 2020 [19], con el objetivo de ampliar y fortalecer el uso de bioinsumos para promover un desarrollo más sostenible de la agricultura brasileña.

Fomentar una producción con mayor sustentabilidad, de forma más amigable con el hombre y la naturaleza, hace que la tasa de uso de bioinsumos crezca aproximadamente un 28% anual [20]. Este hecho impulsa no solo la agricultura en Brasil, sino también una

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605





nueva industria emergente y rentable, que se basa en la producción de bioinsumos para un gigantesco mercado agropecuario y cadenas productivas asociadas.

Para el maíz, que tiene sembradas aproximadamente 20 millones de hectáreas cada año en Brasil, se destacan los productos de base biológica para el control de plagas (bioinsecticidas e insectos benéficos, enemigos naturales de las plagas) e inoculantes, que brindan mayor eficiencia en el uso de los nutrientes, como el P, y estimulantes del crecimiento vegetal, así como protectores frente a estreses abióticos, como la sequía y otros factores adversos.

La investigación pública brasileña también juega un papel importante en la identificación de microorganismos, insectos, moléculas, enzimas y compuestos, para formar la base para el desarrollo (o co-desarrollo) de diversos bioinsumos [21]. Estos bioproductos permiten la sustitución de insumos químicos (muchas veces tóxicos) constituyendo soluciones más sustentables para los sistemas productivos modernos.

Política agrícola para minimizar el riesgo en la producción

La Zonificación Agrícola de Riesgo Climático (ZARC) fue instituida por el Ministerio de Agricultura de Brasil [22], con el objetivo de mapear e identificar momentos de menor riesgo climático (eventos adversos al cultivo agrícola) para la conducción de cultivos, considerando el ciclo del cultivo, tipos de suelos, sus capacidades de retención de agua, y datos climáticos históricos (en décadas), a nivel municipal, para varios cultivos agrícolas, incluido el maíz.

La ZARC es un instrumento de política agrícola y de gestión de riesgos en la agricultura y está asociada al acceso al crédito y al seguro agrícola, proporcionando indicadores de épocas de cultivo que presentan un menor riesgo de malas cosechas y, por tanto, su adopción permite mejores garantías de rendimientos satisfactorios para un mejor retorno de la inversión en la agricultura.

Para el maíz, las ordenanzas se publican cada año, por temporada de crecimiento (primera y segunda cosechas), relacionando cada cultivar disponible en el mercado brasileño con sus regiones de indicación. Las ordenanzas cobran especial importancia en la condición del cultivo del maíz en la contratemporada, ya que es en esta época cuando hay menor frecuencia y volumen de lluvias, por lo que las indicaciones de épocas y regiones de menor riesgo, permiten mayor seguridad a los agricultores. Este mecanismo también permite la identificación de regiones y épocas que no son aptas para el cultivo, con el fin de evitar pérdidas.

Antecipe - tecnología disruptiva para la siembra de maíz de la safrinha antes de la cosecha de soja

El sistema *Antecipe* [23] es un sistema disruptivo de producción de granos, que agrega un conjunto de activos tangibles e intangibles (tecnologías/conocimientos relacionados con la ecofisiología de cultivos, manejo de sistemas de producción, máquinas y aplicaciones) con el potencial de promover impactos importantes para el sector productor de granos y cadenas asociadas, y con expectativas de gran crecimiento en los próximos años, destacando las ganancias productivas en maíz de contraestación.

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



La base de este sistema disruptivo moderno, que promueve el aumento de la productividad en sistemas ya intensificados, es el acceso a una ventana de cultivo más favorable al segundo cultivo, al anticipar su implementación, incluso antes de la cosecha del primer cultivo (soja). Para el desarrollo del sistema *Antecipe*, que aboga por la intercalación temprana de maíz (u otros cultivos) entre las líneas de soja, se realizaron varios estudios durante más de diez años, acumulando conocimientos y prácticas basadas en las etapas fisiológicas del maíz y la soja. Con los resultados de esta investigación pionera, se identificó que la siembra de maíz entre las líneas de soja, hasta 20 días antes de la cosecha de la fabácea (etapa reproductiva R5 de la soja), permite que el maíz esté, como máximo, en la etapa vegetativa V4/V5, en el momento de la cosecha de soja, de modo que el punto de crecimiento del maíz aún esté debajo o cerca de la superficie del suelo. En esta situación, la operación de cosecha de soja, con automóviles, corta la fabácea y también parte de las hojas de las plántulas de maíz en el campo, sin perjudicar el rendimiento del cultivo del cereal; debido a que el punto de crecimiento queda por debajo del corte hecho por la cosechadora. De esta forma, la planta de maíz emitirá hojas nuevas y continuará su crecimiento y desarrollo con normalidad.

Con la siembra temprana, el cultivo sembrado en la segunda cosecha tiene acceso a una mayor cantidad de agua, debido a que la segunda cosecha accede a la lluvia en un momento más favorable, que si se implementara después de la cosecha de soja.

El sistema *Antecipe* fue diseñado con base a un conjunto de conocimientos sobre ecofisiología de cultivos (principalmente soja y maíz, pero está en proceso de ajuste para otros cultivos secuenciales), climatología, riesgo climático (ZARC) y maquinaria agrícola que permite la siembra intermedia de la segunda cosecha, sin afectar la cosecha de soja que falta por recoger. Existe una patente de máquina y una solución informática, a través de una aplicación para dispositivos móviles, que permite la planificación y seguimiento para la toma de decisiones y la gestión más adecuada de este complejo sistema (dos cultivos conviviendo).

Esta solución, que reúne diversos conocimientos científicos y tecnológicos, es un ejemplo más de la contribución de la investigación agrícola pública en Brasil, que permitirá incremento de rendimientos, mayores retornos económicos y mayor sostenibilidad de los sistemas de producción, especialmente para el maíz en la segunda cosecha. También trae oportunidades para el emprendimiento en la asociación público-privada, generando empleos e ingresos.

CONCLUSIÓN

El cultivo de maíz ha experimentado importantes avances en superficie cultivada, productividad y producción bruta en los últimos 30 años. La necesidad de mayores inversiones en el cultivo de soja (más rentable que el maíz) generó varios avances tecnológicos que, con el tiempo, consolidaron al maíz como un cultivo fundamental para aumentar la productividad y la sostenibilidad de los sistemas de producción de granos en Brasil. El proceso de intensificación productiva de las áreas agrícolas permitió la producción del cereal en segunda cosecha (o fuera de temporada) y provocó una reestructuración de la matriz productiva, de manera que la región Centro-oeste, antes



considerada no apta para la agricultura, se convirtió en el productor de granos más importante del país, entre los que destacan la soja y el maíz.

Algunos marcos legales, como la ley de protección de cultivos, también fueron muy importantes para el establecimiento de las condiciones para las inversiones en el sector agrícola y las nuevas tecnologías emergentes permitirán la continuidad de las ganancias en productividad y producción bruta, de manera aún más sostenible.

Hoy, Brasil produce 3,6 veces más granos de maíz que a principios de la década de 1991, con cerca de 112 millones de toneladas, contra 30,7 millones de toneladas en ese momento. A pesar del aumento masivo de la producción bruta, el área cultivada aumentó solo 1,5 veces, de 14 a 20,8 millones de hectáreas. Esto demuestra que, para el maíz, el gran incremento se dio en el rendimiento, que pasó de aproximadamente 2,2 a 5,3 t ha^{-1}, lo que representa un aumento de la productividad de 2,5 veces.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a la Red Latinoamericana del Maíz y al proyecto Tech Maíz del Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo (CYTED) por la gestión para la publicación de este artículo. Se agradece además a José Luis Zambrano del INIAP (Ecuador) por la traducción del manuscrito al español.

CONTRIBUCIÓN DE LOS AUTORES

Lauro J. M. Guimarães y Frederico O. M. Durães concibieron la elaboración del artículo. Junto con el resto de autores realizaron la investigación bibliográfica, analizaron la información y desarrollaron el texto. Todos los autores revisaron críticamente el contenido intelectual del manuscrito. Lauro J. M. Guimarães elaboró las figuras 1 y 2.

CONFLICTO DE INTERÉS

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses en el presente trabajo.

aci
avances
en ciencias e
ingenierías

REFERENCIAS

[1] Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO. (2022). FAOSTAT statistical database. Rome :FAO. Recuperado el 24 de febrero de 2022 de: https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL

[2] Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2022). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2021/22, fevereiro 2022: quinto levantamento. Brasília, DF: CONAB. Recuperado el 11 de febrero de 2022 de: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos

[3] Vidal, M. V. S. (2015). Inovação na agricultura brasileira: a contribuição da Embrapa na conquista do cerrado pela soja. Recuperado el 17 de enero de 2022 de: https://www.acervodigital.ufpr.br/handle/1884/41722

[4] Campelo, G. J de A., Kiihl, R. A. y De Almeida, L. A. (1998). Soja: desenvolvimento e seleção de germoplasma para regiões de baixas latitudes. Embrapa Meio-Norte-Documentos (INFOTECA-E). Recuperado el 24 de enero de 2022 de: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/57032

[5] Duarte, J. de O., Garcia, J., Matoso, M. y Santana, D. (2007). Avaliação dos impactos econômicos, sociais e ambientais da cultivar de milho BR 201 na safra 2005/2006. Embrapa Milho e Sorgo-Documentos (INFOTECA-E). Recuperado el 25 de enero de 2022 de: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/486194

[6] Vasconcellos, R. C. C., Mendes, F. F., Oliveira, A. C., Guimarães, L. J. M., Albuquerque, P. E. P., Pinto, M. O., Barros, B. A., Pastina, M. M., Magalhaes, J. V. y Guimaraes, C. T. (2021). *ZmMATE1* improves grain yield and yield stability in maize cultivated on acid soil. *Crop Science*, 61: 1-10. doi: https://doi.org/10.1002/csc2.20575

[7] Brasil (1997[a]). Lei Nº 9.456, de 25 de abril de 1997. Regulamento. Institui a Lei de Proteção de Cultivares e dá outras providências. Recuperado el 18 de enero de 2022 de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9456.htm

[8] Brasil (1997[b]). Decreto Nº 2.366, de 5 de novembro de 1997. Regulamenta a Lei nº 9.456, de 25 de abril de 1997, que institui a Proteção de Cultivares, dispõe sobre o Serviço Nacional de Proteção de Cultivares - SNPC, e dá outras providências. Recuperado el 18 de enero de 2022 de: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/1997/d2366.htm

[9] Rodrigues, J. A. P. (2017). A lei de proteção de cultivares (LPC). *AgroANALYSIS*, 37(1): 38-43.

[10] Motter, P. & Almeida, H.G. (2015). Plantio direto: A tecnologia que revolucionou a agricultura brasileira. *Foz do Iguaçu: Parque Itaipu*, p. 144. Recuperado el 28 de enero de 2022 de: https://www.farmnews.com.br/mercado/consumo-de-fertilizantes-no-brasil

[11] Fernandes, C. H. S., Tejo, D. P. y Arruda, K. M. A. (2019). Desenvolvimento do Sistema de Plantio Direto no Brasil: Histórico, Implantação e Culturas Utilizadas. *Uniciências*, 23(2): 83-88. Recuperado el 25 de enero de 2022 de: https://revista.pgsskroton.com/index.php/uniciencias/article/view/6466

[12] Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2020). Acompanhamento da safra brasileira de grãos, safra 2020/21, novembro 2020: segundo levantamento. CONAB. Recuperado el 14 de enero de 2022 de: https://www.conab.gov.br/info-agro/safras/graos

[13] Artuzo, F. D., Foguesatto, C. R., Machado, J. A. D., De Oliveira, L. y De Souza, Â. R. L. (2019). O potencial produtivo brasileiro: uma análise histórica da produção de milho. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*, 12(2): 515-540. Recuperado el 18 de enero de 2022 de: https://periodicos.unicesumar.edu.br/index.php/rama/article/view/5327

[14] Parentoni, S. N., Miranda, R. A. y Garcia, J. C. (2013). Implications on the introduction of transgenics in Brazilian maize breeding programs. *Crop Breeding and Applied Biotechnology*, 13: 9-22. Recuperado el 18 de enero de 2022 de: https://www.scielo.br/j/cbab/a/j4XCSyKYF4WBcZkz6yPgQhP/?lang=en#

[15] Pereira-Filho, I. A. y Borghi, E. (2021). Levantamento de cultivares de milho para o mercado de sementes: safra 2020/2021. Embrapa Milho e Sorgo-Documentos (INFOTECA-E). Recuperado el 18 de enero de 2022 de: https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/handle/doc/1133681

[16] Alves, E. R. de A., Contini, E. y Gasques, J. G. (2008). Evolução da produção e produtividade da agricultura brasileira. Área de Informação da Sede-Capítulo em livro científico (ALICE). Recuperado el 24 de enero de 2022 de: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1061204/1/Evolucaodaproducao.pdf

[17] FARMNEWS (2021). Consumo de fertilizantes no Brasil em 2021 nunca foi tão alto: confira dados. Recuperado el 26 de enero de 2022 de: https://www.farmnews.com.br/mercado/consumo-de-fertilizantes-no-brasil/

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605



[18] De Resende, A. V., Fontoura, S. M. V., Borghi, E., Dos Santos, F. C., Kappes, C., Moreira, S. G., *et al.* (2016). Solos de fertilidade construída: características, funcionamento e manejo. Embrapa Milho e Sorgo-Artigo em periódico indexado (ALICE). Recuperado el 10 de febrero de 2022 de: https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1070008/1/Solosfertilidade1.pdf

[19] Brasil (2020). Decreto Nº 10.375, de 26 de maio de 2020. Institui o Programa Nacional de Bioinsumos e o Conselho Estratégico do Programa Nacional de Bioinsumos. Recuperado el 24 de enero de 2022 de: https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/decreto-n-10.375-de-26-de-maio-de-2020-258706480

[20] EBC (2021). Uso de bioinsumos cresce cerca de 28% ao ano no Brasil. Brasil Rural. Recuperado el 25 de enero de 2022 de: https://radios.ebc.com.br/brasil-rural/2021/10/o-uso-de-bioinsumos-no-brasil-tem-crescido-em-torno-de-28-ao-ano

[21] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2022). Portfolio Insumos Biológicos. Recuperado el 10 de enero de 2022 de: https://www.embrapa.br/portfolio/insumos-biologicos

[22] Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento – MAPA (2022). Zoneamento Agrícola. Recuperado el 18 de enero de 2022 de: https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/riscos-seguro/programa-nacional-de-zoneamento-agricola-de-risco-climatico/zoneamento-agricola

[23] Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – EMBRAPA (2022). Sistema Antecipe. Recuperado el 26 de enero de 2022 de: https://www.embrapa.br/sistema-antecipe

 DOI: https://doi.org/10.18272/aci.v14i1.2605